

Göhlisar (Burdur) ovasının hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal değerlendirilmesi Hydrogeological and hydrogeochemical assesment of Göhlisar (Burdur) plain

Ayşen DAVRAZ^{1*}, Emine İlknur YILMAZ¹

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
aysendavraz@sdu.edu.tr, ymz.i@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 03.06.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 15.08.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.75547

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Türkiye'nin güneybatısında bulunan Göhlisar (Burdur) Ovası 1505 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. İnceleme alanında Yeşilbarak napı, Likya napları ile paraallokton ve Kuvaterner yaşlı birimleri içeren neotokton kaya birimleri yüzeylenmektedir. Ovada alüvyon, konglomera ve kireçtaşı birimlerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgede genel yeraltısuyu akım yönünün ovanın güneyine doğru olduğu görülmektedir. Ovada yeraltısuyu tablasının rakımı 960-1644 m; yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 4.0-57.07 m arasında ölçülmüştür. Göhlisar Ovası'nda yeraltısuyunun kalite ve kirlilik analizleri ile hidrojeokimyasal değerlendirmeler yapılmıştır. İnceleme alanında yeraltısuları Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ hidrojeokimyasal su fasiyeslerinin varlığı tespit edilmiştir. Yeraltısularında Mg artışı Neojen Çameli formasyonu, Orhaniye formasyonu ve Marmaris peridotiti ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları, Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametrelerinin değerlendirilmesi ile sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bölgede yeraltısuları için en önemli kirlenici unsur tarımsal faaliyetlerdir. Bu durum, ova genelinde yeraltısularında nitrat içeriklerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca, yeraltısularının Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn ve Pb gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Ağır metal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılmış ve sınır değerlerin aşılmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Göhlisar, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Burdur

Abstract

The Göhlisar (Burdur) plain which is located in the southwest of Turkey have 1505 km² watershed area. Yeşilbarak nappes, Lycian nappes and neo-autochthonous rock units including para-allochthonous and Quaternary units are outcropped in the investigation area. Groundwater supplied from alluvium, conglomerate and limestone units. General groundwater flow direction is towards to south of the plain. The elevation of the groundwater table and the depths of the groundwater from the ground surface in the plain were measured between and 960-1644 m 4-57.07 m, respectively. The hydrogeochemical evaluations were made using the quality and pollution analyses of groundwater in the Göhlisar plain. Groundwaters are Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and Ca-HCO₃ facies. The increase of Mg is originated from Çameli formation, Orhaniye formation and Marmaris peridotite related to water-rock interaction. The US salinity diagram, Wilcox diagram, residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and Magnesium hazard (MH) are used to assess the suitability of groundwater for agricultural purposes. Groundwaters are suitable for usage as irrigation water in the plain. Agricultural activity is most important pollution in the plain. Nitrate content is increased because of agricultural activity in the research area. In addition, heavy metal contents of groundwater such as Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn and Pb were also investigated. The results of heavy metal contents were compared to Turkish drinking water standards (TSE-266) and World Health Organization (WHO) and not exceed the permissible limit values is determined.

Keywords: Göhlisar, Hydrogeology, Hydrochemistry, Burdur

1 Giriş

Sosyal ve ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği büyük ölçüde temiz ve yeterli su kaynağına sahip olunmasına bağlıdır. Özellikle, kentleşme, nüfus artışı, artan yaşam standartları ve farklı insan faaliyetleri ile oluşan kirlilikler su kaynakları üzerindeki baskıları giderek artırmaktadır. Bunlara iklim değişimi ve doğal koşullardaki değişiklikler de eklendiğinde mevcut su kaynaklarının korunması zorlaşmaktadır. Yüzeysel suların kirlilik yüklerinin artması yeraltısularının toplumların farklı amaçlar için su ihtiyacının karşılanmasında büyük yer tutmasına neden olmuştur. Ülkemizde kullanılabilir yüzeysel su miktarının oldukça düşük olması su ihtiyacının giderilmesinde yeraltısularının önemini giderek artırmaktadır. Ancak, yeraltısularına yönelik artan ilgi, aşırı çekim sonucu koruma kullanma dengesinin bozulmasına neden olmakta, insan faaliyetleri ve doğal kökenli kirlilik riskleri de bu kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu doğrultuda gelecekteki kullanımlar için yeterli miktar ve kalitede suyun olup olmadığını belirlemek ve bu sırada karşılaşılabilecek havza problemlerini çözmek amacıyla hidrojeolojik havza etütlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanı olarak seçilen Göhlisar Ovası sulu tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bir bölgedir. Göhlisar Ovası Burdur ilinin güneybatısında Burdur Gölü Havzası içinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada Göhlisar (Burdur) Ovası'nın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



Şekil 1: Çalışma alanının yerbuldur haritası.

2 Araştırma yöntemi

Çalışma alanının 1/100000 ölçekli jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazi çalışmaları ile hazırlanmış ve CoreDRAW-X9 yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Çalışma alanında yeraltısuyu seviyesinin konumu ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla temsili olarak 17 adet sondaj kuyusunda iki dönem (Mayıs-Ekim 2013) statik seviye ölçümleri yapılmıştır. Akifer parametreleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 36 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak Cooper-Jacob yöntemi ile Aquifer Test 4.0 bilgisayar yazılım programı vasıtasıyla hesaplanmıştır. İnceleme alanında yeraltısuyu kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi amacıyla akiferi temsil eden sondaj kuyuları ve kaynak suları olmak üzere 15 noktadan Haziran-2013 ayında su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında Hanna marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon ve nitrat, nitrit, amonyak analizleri SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Su örneklerinin SO₄ içerikleri spektrofotometre, alkalinite (CO₃, HCO₃) standart titrimetrik, Cl gümüş nitrat titrimetrik yöntem, azot türevleri ise fotometrik metod ile ölçülmüştür. Katyon ve ağır metal analizleri ise ACME (Kanada) laboratuvarında yaptırılmıştır. ACME laboratuvarında katyon ve iz element içeriklerinin belirlenmesinde ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) analiz tekniği kullanılmaktadır.

3 Jeoloji

Bölgede alloktan konumlu Yeşilbarak napı, Likya napları ile paraalloktan ve neotokton birimler otokton konumlu olarak yüzeylemektedir. Ovada alloktan birimler olarak Elmalı, Yavuz, Babadağ, Sandak, Orhaniye, Karaböğürtlen, Karanasıflar, Yuvadağ, Çatlıca formasyonları, Karaköy dolomiti, Marmaris peridotiti, Kızılcaadağ Melanj ve Olistrosromu ile Dutdere kireçtaşı birimleri bulunmaktadır. Neotokton birimler olarak ise Kuvaterner alüvyon ve yamaç molozu ile Pliyosen Çameli formasyonu yüzeylemektedir (Şekil 2).

İnceleme alanında geniş yayılıma sahip gösel kireçtaşı, kumtaşı, marn, çakıltaşı vb. kaya türlerinden oluşan Çameli formasyonu Likya napları üzerinde açılmalı uyumsuz olarak bulunur. Kuvaterner örtü birimlerinden biri olan alüvyon egemen olarak sarımsı, kötü boylanmalı, zayıf pekleşmiş çakıl, kum ve çamurtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Yamaç molozu özellikle Kızılcaadağ ofiyolitlerinin dokanakları boyunca ve çoğunlukla bu birime ait kayaların değişik boyutlu ve farklı derecelerde yuvarlaklaşmış çakıllarını içermektedir.

Elmalı formasyonu Neojen havzanın temelinde türbiditik kumtaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Ovada küçük mostralarda gözlenen Yavuz formasyonu kireçtaşı ara seviyeli kumtaşı ve kilttaşlarını içermektedir. Tavas napına ait birim olan Babadağ formasyonu, kalsitürbidit ve çörtlü mikritlerden oluşmaktadır [1]. Dolomit ve dolomitik rekrystalize kireçtaşlarından oluşan Karaköy dolomiti ile yer yer çörtlü kireçtaşı ara seviyeli dolomit, dolomitik kireçtaşı ve neritik kireçtaşlarından oluşan Sandak formasyonu birbirleri ile uyumlu olarak bulunmaktadır [2]. Marmaris ofiyolit napına ait bir birim olan Marmaris Peridotiti, genelde peridotit, serpantin ve serpantinleşmiş peridotitleri içermektedir. Kızılcaadağ ofiyolitli melanjı serpantin bir hamur içerisinde Permiyen yaşlı karbonat,

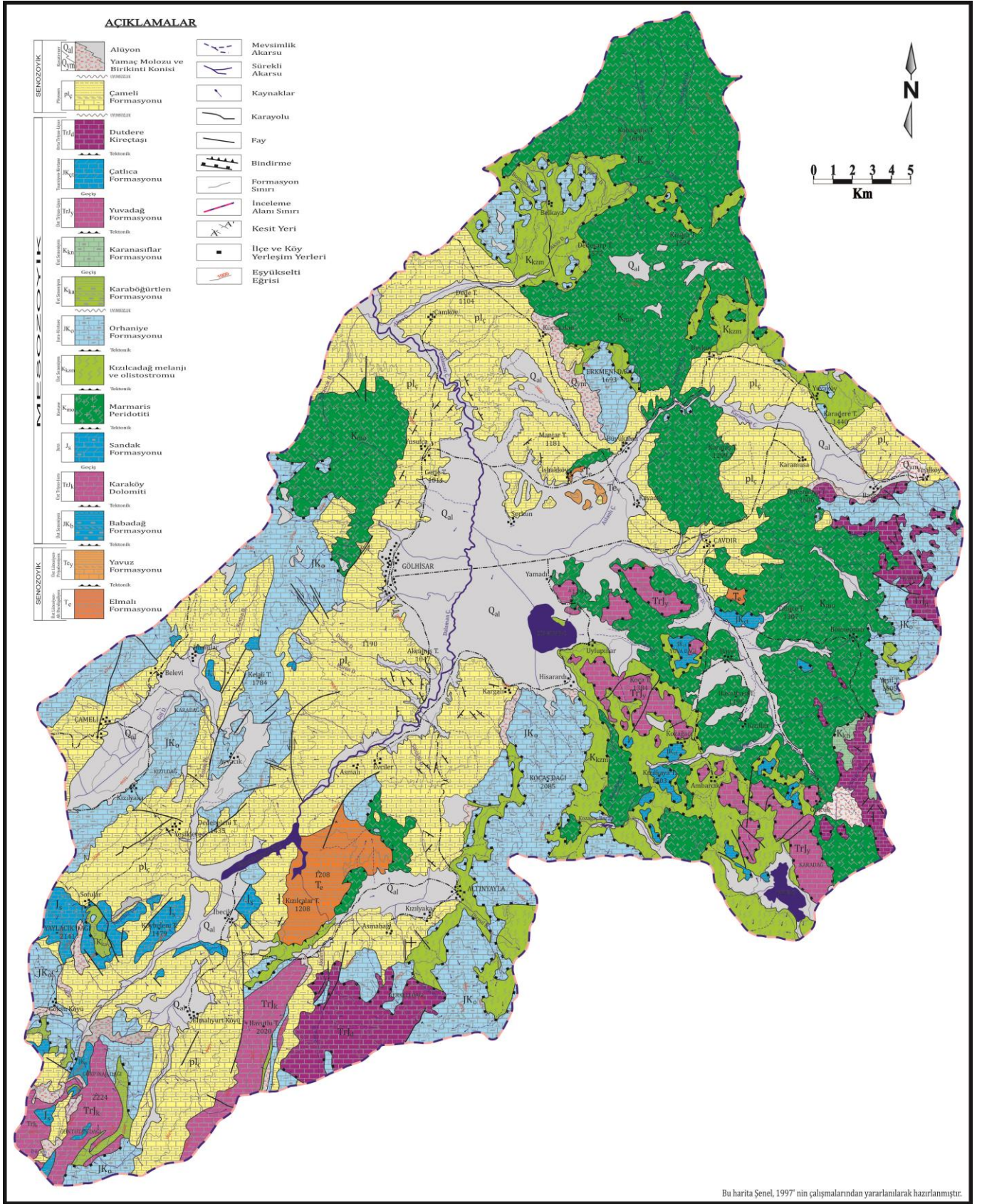
Triyas, Jura, Kretase yaşlı karbonatlar, radyolarit-çört, çörtlü kireçtaşı, neritik kireçtaşları ile bazalt, split, tuf, gabro, diyabaz vb. blokları kapsar [3],[4]. Gülbahar napına ait olan radyolarit ve çört ara seviyeli çörtlü mikritlerden oluşan Orhaniye formasyonu ise inceleme alanında geniş yayılıma sahiptir. Genelde kaotik yapı gösteren Karaböğürtlen formasyonu kumtaşı, kilttaşı ve silttaşlarından oluşmakta yer yer kumlu-killi kireçtaşı, mikrit, çörtlü mikrit, kalsitürbidit, marn gibi düzeyler de içermektedir. Kireçtaşı ve çört elemanlı breşlerden oluşan Karanasıflar formasyonu Gülbahar napına aittir [5]. Neritik kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Yuvadağ formasyonu Üst Triyas-Liyas yaşlıdır. Toarsiyen-Kretase yaşlı Çatlıca formasyonu kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşlarını kapsar. Domuzdağ napının bir alt elemanı olan Dutdere kireçtaşı çalışma alanında çeşitli renk ve fasiyelerde kireçtaşı, intraformasyonel breş ve çörtlerden oluşmaktadır [1].

4 Hidroloji

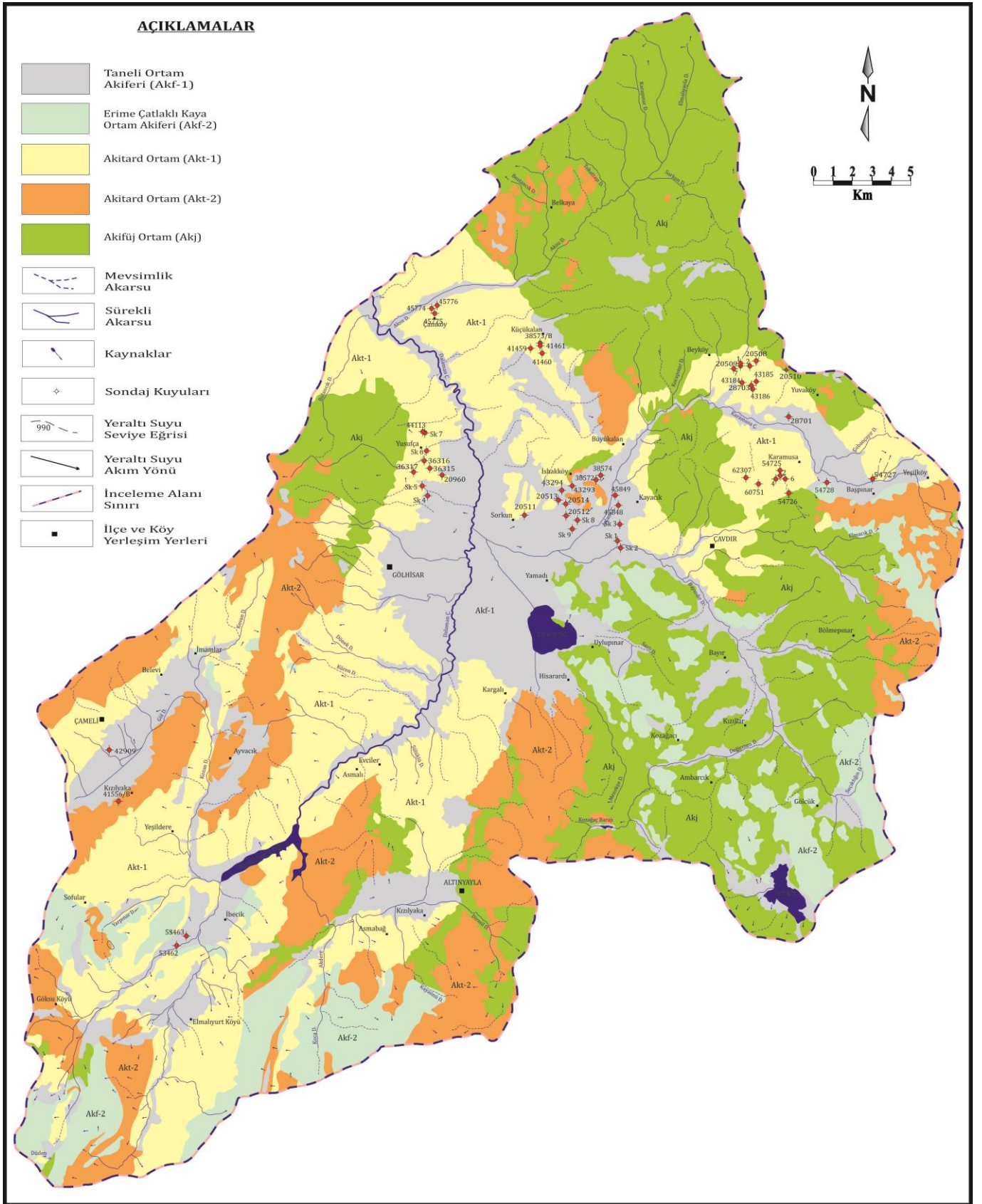
Göhlisar Ovası için eş yağış eğrileri yöntemine göre belirlenen ortalama yağış miktarı 577.1 mm'dir. 1505 km²lik alana sahip Ova için ortalama yağıştan beslenme miktarı 868.35x10⁶ m³/yıl olarak belirlenmiştir. Ovada buharlaşma ile gerçekleşen boşalım miktarı Thornthwaite yöntemi ile 504.97x10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ovanın diğer bir beslenme kaynağı ise ovadaki sondaj kuyularından çekilen sulama suyu ve Yapraklı barajı sulamasından süzülmedir. Ovada yaklaşık olarak resmi ve şahıs olmak üzere 653 kuyu bulunmaktadır. Arazi çalışmaları ve DSİ yetkilileri ile yapılan görüşmelerde havzada bulunan çok sayıda kuyunun yüzey sulaması ve kuyuların borç nedeniyle çalıştırılmaması sebepleriyle kullanılmadığı tespit edilmiştir. Kuyuların ortalama 30 l/s debi ile 5 saat ve yılda 120 gün çalıştığı varsayılırsa toplam çekilen su miktarı 38.88x10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Havzaya Yapraklı barajından Göhlisar Ovası'na verilen sulama suyu miktarı 7203 ha sulama alanı için yaklaşık olarak 51.1x10⁶ m³/yıl'dır. İnceleme alanı içerisinde doğan ve Burdur Gölü'nü besleyen sürekli akışa sahip Dalaman çayı Göhlisar Ovası'nın en önemli yüzey suyudur. Bu dere üzerinde DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından kurulmuş akım rasat istasyonunda düzenli ölçümler yapılmaktadır. Göhlisar ovası çıkışında Çamköy istasyonunda 1987-2013 yılları arasında ölçülen debi değerlerine göre Göhlisar ovasından Dalaman çayı ile boşalım 1.67x10⁶ m³/yıl olarak belirlenmiştir [7].

5 Hidrojeoloji

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiş ve litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme kapasitelerine göre akifer, akitart ve akifüj ortamlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu veriler kullanılarak 1/100000 ölçekli hidrojeoloji haritası CoreDRAW-X5 yazılımı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 3). Ova sınırları içerisinde geniş alanlarda yayılım gösteren ve içerisindeki çakıl ve kum seviyeleri ile önemli miktarda yeraltısuyu bulundurabilme kapasitesine sahip alüvyon ile yamaç molozu *Taneli Ortam Akiferi*'ni (Akf-1) temsil etmektedir. Alüvyon ortam içerisinde açılan kuyuların debileri 19.24-53.42 l/s arasında değişmektedir. Alüvyon birim tabanında batıda Çameli formasyonu, doğuya doğru ise Orhaniye formasyonuna ait kireçtaşları bulunmaktadır. Kireçtaşından oluşan kırıklı-çatlaklı ve karstik boşluklu yapılarından dolayı karstik akifer niteliğini taşıyan Karanasıflar formasyonu, Karaköy Dolomiti, Yuvadağ formasyonu, Çatlıca formasyonu,



Şekil 2: İnceleme alanının jeoloji-hidrojeoloji haritası ([6] Şenel, 1997'nin çalışmalarından değiştirilerek hazırlanmıştır).



Şekil 3: İnceleme alanının hidrojeoloji haritası (Şenel, 1997'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

Sandak formasyonu ve Dutdere kireçtaşları *Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi* (Akf-2) olarak tanımlanmıştır. Bu birimlerden ovada en fazla yayılıma sahip olan birim Dutdere kireçtaşlarıdır. Bu birimlerin kesildiği sondaj kuyuları bulunmamaktadır. Çameli formasyonu litolojisi ve yayılımı dikkate alınarak *Akitart Ortam-1* (Akt-1) olarak değerlendirilmiştir. Ovanın kuzeybatısında Çamköy ve İshakköy civarlarında açılan kuyularda alüvyon tabanında Çameli formasyonuna ait konglomera seviyelerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Alüvyon ve konglomera kesilen kuyuların debileri 6.24-60.62 l/s arasında değişmektedir. İnceleme alanında yayılımları kısıtlı olan ve su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikleri taşıyan Orhaniye, Elmalı ve Karaböğürtlen formasyonları *Akitart Ortam-2* (Akt-2) olarak seçilmiştir. Ovanın güneyinde Çameli ve Kızılyaka civarlarında açılan kuyularda Orhaniye formasyonuna ait kireçtaşı seviyelerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bu kuyuların debileri 5.16-12.47 l/s arasında değişmektedir. Geçirimsiz özelliğe sahip Kızılcadağ melanj ve olistostromu, Marmaris Peridotiti ve Karanasıflar formasyonu *Akifuj Ortam* (AkJ) olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyu kuyuları hidrojeolojik özelliğine göre yaygın verimli akifer olarak tanımlanan alüvyon ortam içerisinde açılmıştır. Alüvyon akiferde yeraltısuyu seviye değişimleri ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla temsili olarak seçilen 17 adet kuyuda yağışlı ve kurak dönemi temsil eden Mayıs-Ekim 2013 dönemlerinde yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Bölgede genel yeraltısuyu akım yönünün ovanın güneyine doğru olduğu görülmektedir. Ovada yeraltısuyu tablasının rakımı 960-1644 m arasında; yeraltısuyunun yüzeyden derinliği ise 4.0-57.07 m arasında ölçülmüştür (Tablo 1). Havzada yapılan ölçümlerde yeraltısuyu seviye düşümlerinin çok yüksek olmadığı yersel olarak yükselemlerin de gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu durum havzada Yapraklı barajı sulaması nedeniyle yeraltısuyu kuyularının kullanılmamasından kaynaklanmaktadır [7].

Akiferlerin hidroloji parametreleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 36 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Alüvyonda açılan kuyularda hesaplanan permeabilite katsayısı 2.03×10^{-4} 9.99×10^{-7} m/s, transmisibilite katsayısı 1.17×10^{-1} 9.15×10^{-5} m²/s ve depolama katsayısı değerleri 0.42×10^{-1} 1.51×10^{-5} arasında değişmektedir. Alüvyon ve konglomera kesilen kuyularda K değeri 1.02×10^{-4} 8.97×10^{-6} m/s, T değeri 1.1×10^{-1} 9.15×10^{-4} m²/s ve depolama katsayısı değerleri 1.24×10^{-2} 8.58×10^{-3} arasında hesaplanmıştır. Kireçtaşı akiferinde bulunan kuyularda permeabilite katsayısı 4.94×10^{-5} 2.07×10^{-6} m/s, transmisibilite değeri 2.36×10^{-1} 3.66×10^{-5} m²/s ve depolama katsayısı 5.49×10^{-2} 5.31×10^{-3} arasındadır (Tablo 2).

6 Hidrojeokimya

Çalışma alanında içme ve sulama amaçlı kullanılan yeraltısuyunun kalitesini belirleyebilmek amacıyla ovayı temsil edecek 15 ayrı noktadan su örnekleri alınmıştır. Örneklerin Elektriksel iletkenlik (EC) değeri 320-720 μ S/cm, sıcaklık 15.7-23.6 °C, pH değeri 7.08-8.73, sertlik değerleri 24.20-47.75, Ca içeriği 2.07-131.1 mg/l, Na; 2.08-16.16 mg/l, Mg; 9.65-101.4 mg/l, K; 0.22-5.22 mg/l, HCO₃; 195.26-549.18 mg/l, Cl; 1.38-20.35 mg/l, SO₄ içeriği 1.89-41.31 mg/l, CO₃ içeriği 0-72 mg/l arasında değerler almaktadır. Ova genelinde toplam iyon içeriği 7.04-19.18 mek/l'dir (Tablo 3; Şekil 4).

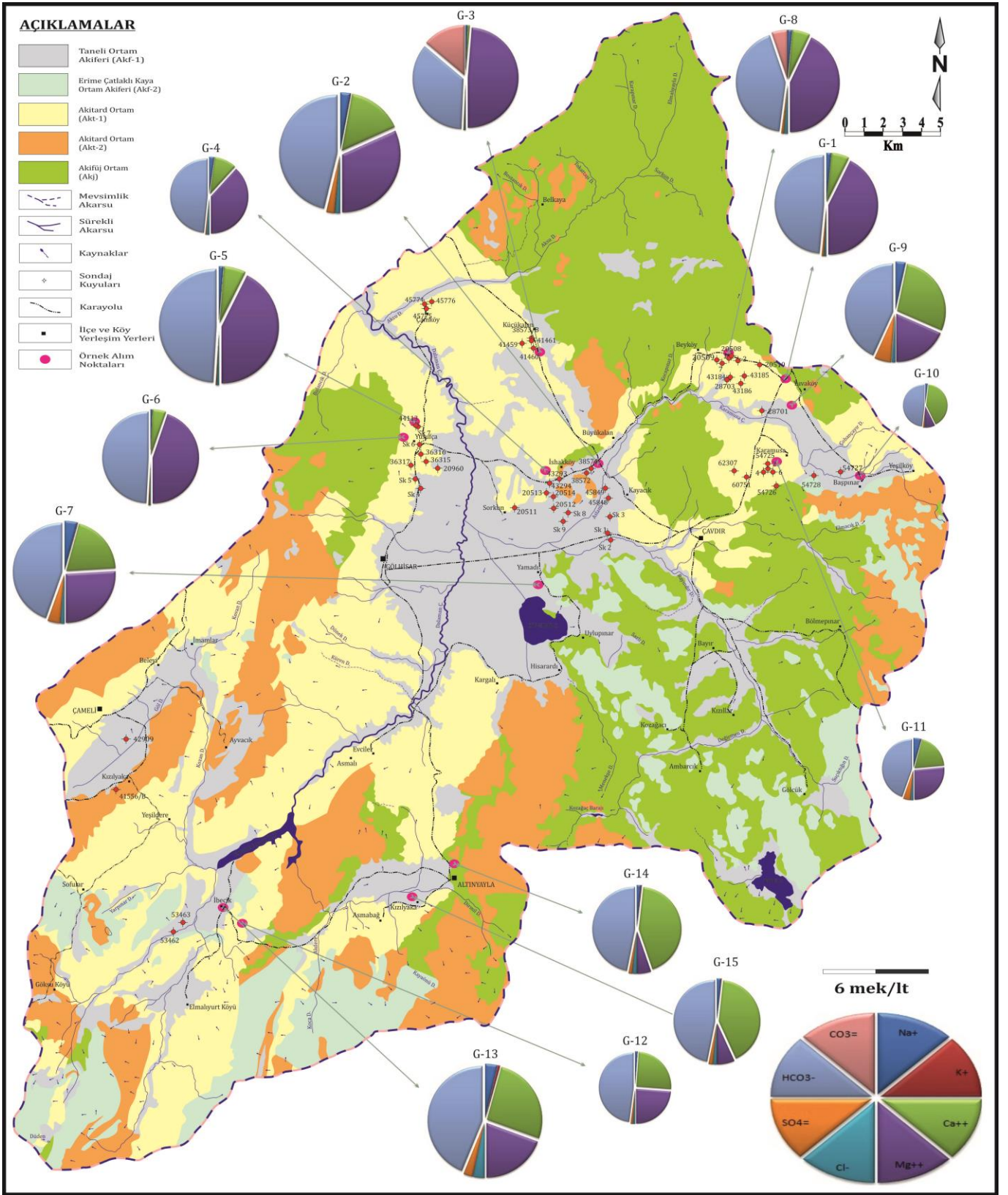
İnceleme alanında yeraltısuları Piper diyagramına göre Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ hidrojeokimyasal su fasiyelerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5). Alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃+HCO₃) güçlü asit köklerinden (SO₄+ Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir. İnceleme alanında Mg artışı Neojen Çameli formasyonu, Orhaniye formasyonu ve Marmaris peridotiti ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit gibi mineralleridir [8]. Çalışma alanında bulunan kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlere bağlı olarak yeraltısuyunun bileşiminde değişiklikler gerçekleşmektedir.

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu [9] ve Dünya Sağlık Örgütü [10] standartları kullanılmıştır. Ovada sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından müsaade edilecek maksimum sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Ayrıca, Schoeller içilebilirlik diyagramı hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre bölgede yeraltısularının genel olarak **'İyi-çok iyi kaliteli sular'** sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6). Elektriksel iletkenlik ve sertlik parametrelerinin yüksekliği iyi su kaliteli sular sınıfında tanımlanmalarına neden olmaktadır.

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı (Şekil 7) ve Wilcox diyagramları (Şekil 8) ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır.

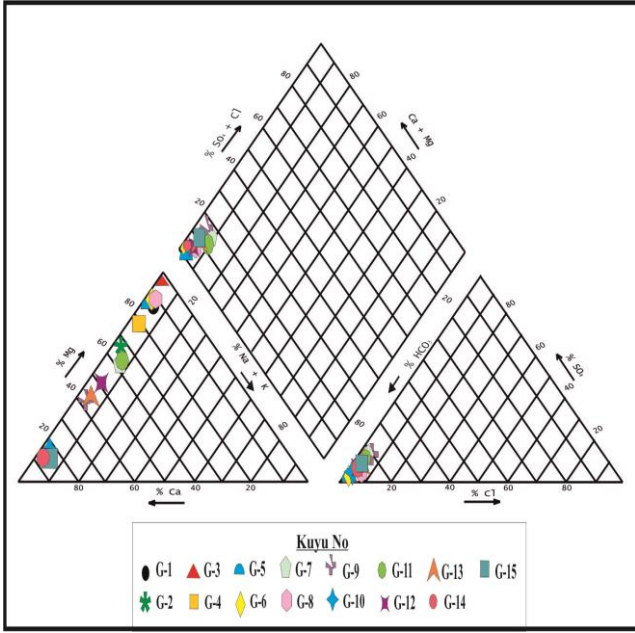
Tablo 1: Gölhisar ovası yeraltısuyu statik seviye ölçümleri.

Bölge	Kuyu No	Kuyu Kotu (m)	MAYIS (27.05.2013)		EKİM (23.10.2013)	
			YAS Derinliği (m)	YAS Kotu (m)	YAS Derinliği (m)	YAS Kotu (m)
Beyköy	1	1656.5	18.66	1637.84	20.48	1636.02
Beyköy	2	1225	23.07	1201.93	21.34	1203.66
Beyköy	7	1656.7	13.90	1642.8	12.59	1644.11
Karamusa	2	1236			41.33	1194.67
Karamusa	4	1255	40.97	1214.03		
Karamusa	6	1258	56.10	1201.9	57.07	1200.93
Büyükalın	38572	1017	7.25	1009.75	6.37	1010.63
Kayacık	SK-1	978	4.97	973.03		
Kayacık	SK-2	968	4.50	963.5		
Kayacık	SK-3	986	11.25	974.75		
Gölhisar	SK-4	953	9.95	943.05		
Yusufova	SK-5	977	6.78	970.22	7.55	969.45
Yusufova	SK-6	1020	4.00	1016	4.29	1015.71
Yusufova	SK-7	1003	34.90	968.1	35.28	967.72
İshak	SK-8	980	7.32	972.68		
İshak	SK-9	983	5.87	977.13		
Beyköy	43185	1211			14.45	1196.55
İshak	43294	994			33.28	960.72
Çavdır	60751	1252	41.90	1210.1	42.20	1209.8
	62307	1233	30.88	1202.12		

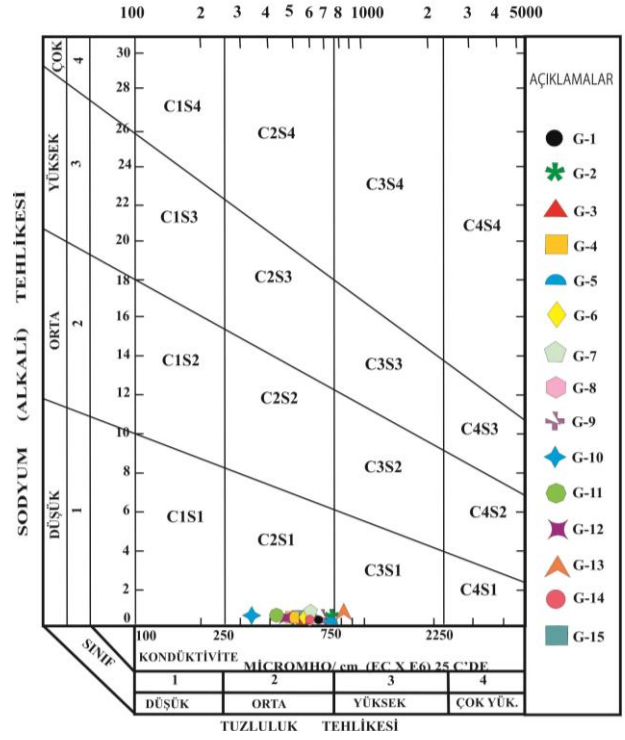


Şekil 4: Hidrojeokimya haritası.

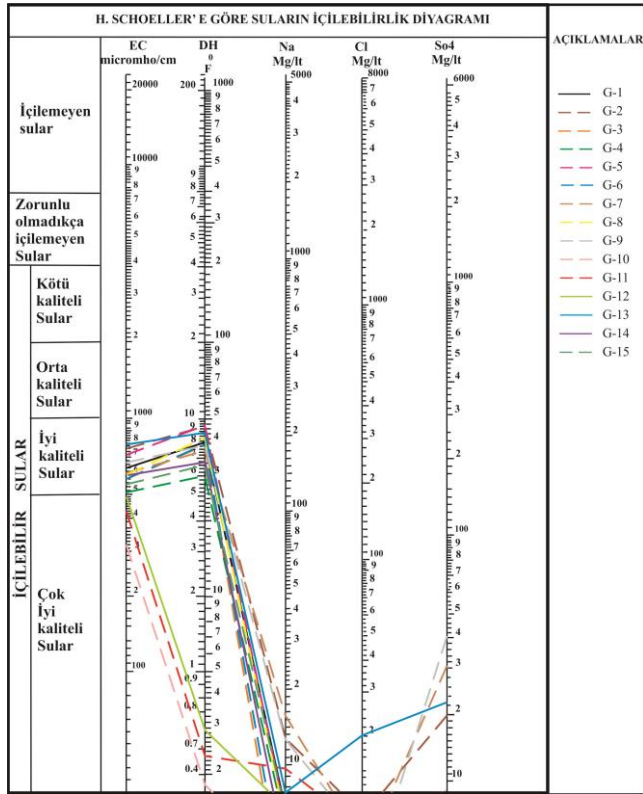
ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre yeraltısuları genel olarak orta tuzlulukta ve az sodyumlu suları temsil eden 'C₂S₁' sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramına göre ise 'çok iyi kullanılabilir sular' sınıfında yer almaktadır. RSC, toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. İnceleme alanına ait RSC değerlerine göre, çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sular sınıfındadır.



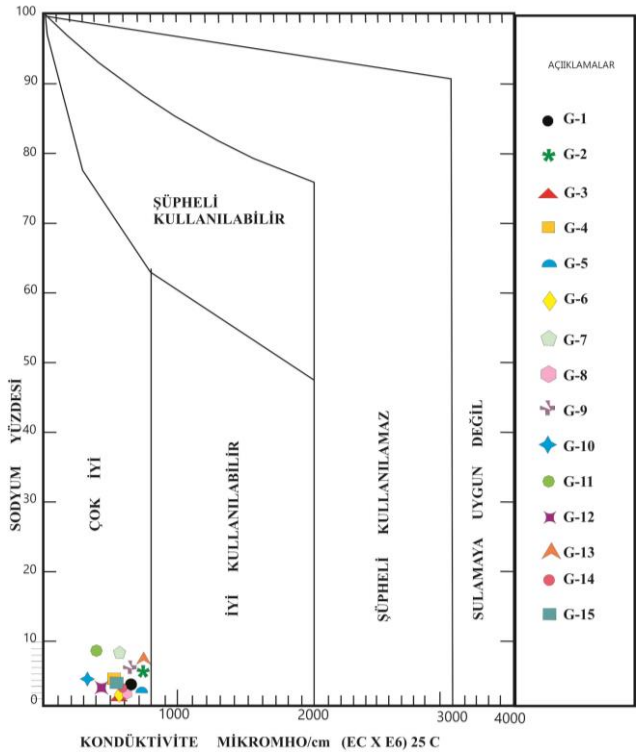
Şekil 5: Piper diyagramı.



Şekil 7: ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.



Şekil 6: Schoeller içilebilirlik grafiği.



Şekil 8: Wilcox diyagramı.

PI değeri sulama suyu için uygunluğunu değerlendirmesinde kullanılmaktadır. İnceleme alanında yeraltısularının PI değerleri %31.95 ile 51.31 arasında değişmektedir. %25 ile 75 arasındaki değerler PI değeri için II. sınıf suları temsil etmektedir. Sulama suyunda Mg artışı toprak kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ovada Beyköy, Büyükkalan,

Küçükalan, Yamadı, İshak, Yusufça ve Karamusa bölgelerinde yeraltısularının Mg içeriğinin yüksek olması nedeniyle MT değerinin >50 olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki yeraltısuları MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişli değildir.

7 Doymunluk indeksi değerlendirilmesi

Yeraltısuları yağıştan itibaren yerin derinliklerine süzülürken çok sayıda farklı süreçten geçmektedir. Bu kimyasal süreçlerden en etkili olanı ve su tipini belirleyen etken ise su-kayaç etkileşiminden kaynaklanan çökeltme ve çözünme süreçleridir. Yeraltısuyu derinlerde dolaşımı sırasında dokanakta bulunduğu kayaçlar ile iyon alışverişinde bulunmakta ve kimyasal bileşiminde değişiklikler olmaktadır. Su tarafından kazanılan bu kimyasal içerik suların hangi ortamdan/kayaçtan geldiği hakkında yorum yapılabilmesi olanağını sağlamaktadır. Sular tarafından kazanılan bu kimyasal içeriğin yorumlanması amacıyla suların çeşitli minerallere göre doymunluk durumları incelenmektedir [8].

Çalışmada yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 [11] bilgisayar programı yardımıyla mineral doymunluk indeksi (SI) değerleri hesaplanmıştır. SI değerleri >0 olan sularda çökeltme, SI değerleri <0 olan sularda çözünme eğilimi vardır. İnceleme alanında yeraltısularından

yağışlı ve kurak dönemde alınan örneklerin çıkış sıcaklığı ve arazide ölçülen pH değerine göre mineral doymunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Yeraltısuyu örneklerinin aragonit, kalsit, dolomit, kaolinit, muskovit ve kuvars minerallerine doymun olduğu tespit edilmiştir. Suların kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doymun olması akiferi oluşturan alüvyon birim içerisinde kireçtaşı ve dolomit çakılları ile etkileşime işaret etmektedir.

8 Yeraltısuyu kirliliği

İnceleme alanında yeraltısularının ova genelinde yoğun tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktan kaynaklanan azot türevleri bakımından kirlilik düzeyinin tespit edilmesi amacı ile sularda amonyum (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻) ve nitrat (NO₃⁻) analizleri yaptırılmıştır. Analizlerde nitrat içeriğinin 0.98-38.77 mg/l arasında, nitrit <0.01 mg/l ve amonyum içeriği <0.06-0.10 mg/l değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ovada yeraltısularının kirlilik tespiti için iz element analizleri (As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) Acme (Kanada) Laboratuvarında yaptırılmıştır. Ağır metal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarında müsaade edilen maksimum sınır değerlerin aşılmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 2: Akiferlerin hidroloji parametreleri (K,T,S).

Bölge	Kuyu No	Debi lt/sn	Cooper-Jacob Time-Drawdown			Litoloji
			K (m/sn)	T (m ² /sn)	S	
Beyköy	20508	30.27	9.0 x 10 ⁻⁵	8.10 x 10 ⁻³	6.07 x 10 ⁻²	Alüvyon
Beyköy	20509	40.62	4.63 x 10 ⁻⁵	3.75 x 10 ⁻³	1.97 x 10 ⁻¹	Alüvyon
Beyköy	20510	51.10	2.30 x 10 ⁻⁵	2.26 x 10 ⁻³	0.42 x 10 ⁻¹	Alüvyon
İshak	20511	55.00	1.02 x 10 ⁻⁴	1.1 x 10 ⁻¹	2.47 x 10 ⁻³	Alüvyon- konglomera
İshak	20512	45.10	3.69 x 10 ⁻⁵	4.99 x 10 ⁻³	1.87 x 10 ⁻³	Alüvyon- konglomera
İshak	20513	45.73	1.1 x 10 ⁻⁵	1.65 x 10 ⁻³	1.24 x 10 ⁻²	Alüvyon- konglomera
İshak	20514	60.62	2.62 x 10 ⁻⁵	4.48 x 10 ⁻³	1.26 x 10 ⁻²	Alüvyon- konglomera
Yusufça	20960	36.83	5.45 x 10 ⁻⁵	3.38 x 10 ⁻³	9.50 x 10 ⁻³	Alüvyon
Kayacık	28701	52.80	5.64 x 10 ⁻⁵	4.85 x 10 ⁻³	1.36 x 10 ⁻²	Alüvyon
Kayacık	28703	51.10	2.03 x 10 ⁻⁴	1.7 x 10 ⁻¹	4.78 x 10 ⁻²	Alüvyon
Yusufça	36315	45.10	7.35 x 10 ⁻⁶	1.18 x 10 ⁻³	5.16 x 10 ⁻³	Alüvyon
Yusufça	36316	22.17	8.49 x 10 ⁻⁶	1.34 x 10 ⁻³	1.51 x 10 ⁻⁵	Alüvyon
Yusufça	36317	19.24	2.35 x 10 ⁻⁶	3.86 x 10 ⁻⁴	2.90 x 10 ⁻³	Alüvyon
Küçükalan	41459	38.35	7.09 x 10 ⁻⁶	7.73 x 10 ⁻⁴	2.89 x 10 ⁻²	Alüvyon
Küçükalan	41460	28.26	3.21 x 10 ⁻⁶	3.53 x 10 ⁻⁴	4.63 x 10 ⁻²	Alüvyon
Küçükalan	41461	20.00	2.90 x 10 ⁻⁶	3.39 x 10 ⁻⁴	5.72 x 10 ⁻²	Alüvyon
Kızılyaka	41556/B	10.09	2.60 x 10 ⁻⁵	1.98 x 10 ⁻³	0.44 x 10 ⁻²	Alüvyon
Kızılyaka	41556/B	12.47	4.94 x 10 ⁻⁵	3.66 x 10 ⁻⁴	5.49 x 10 ⁻²	Kireçtaşı
Çameli	42909	5.16	2.07 x 10 ⁻⁶	2.36 x 10 ⁻⁴	5.31 x 10 ⁻³	Kireçtaşı
Beyköy	43184	33.05	1.11 x 10 ⁻⁵	7.32 x 10 ⁻⁴	9.09 x 10 ⁻³	Alüvyon
Beyköy	43185	40.62	1.82 x 10 ⁻⁵	2.13 x 10 ⁻³	6.36 x 10 ⁻²	Alüvyon
Beyköy	43186	40.62	1.73 x 10 ⁻⁵	1.90 x 10 ⁻³	5.70 x 10 ⁻¹	Alüvyon
İshak	43293	38.35	9.99 x 10 ⁻⁶	1.16 x 10 ⁻³	8.69 x 10 ⁻²	Alüvyon
İshak	43294	6.24	2.48 x 10 ⁻⁶	2.85 x 10 ⁻⁴	0.64 x 10 ⁻²	Alüvyon
Yusufça	44113	9.34	3.34 x 10 ⁻⁶	4.27 x 10 ⁻⁴	9.61 x 10 ⁻³	Alüvyon
Çamköy	45774 (53332)	30.27	6.73 x 10 ⁻⁶	1.07 x 10 ⁻⁴	3.73 x 10 ⁻²	Alüvyon- konglomera
Çamköy	45775	35.32	8.97 x 10 ⁻⁶	1.53 x 10 ⁻³	8.58 x 10 ⁻³	Alüvyon- konglomera
Çamköy	45776	35.32	5.65 x 10 ⁻⁶	9.15 x 10 ⁻⁴	3.43 x 10 ⁻²	Alüvyon- konglomera
Kayacık	45848	50.46	1.49 x 10 ⁻⁵	1.42 x 10 ⁻³	5.32 x 10 ⁻²	Alüvyon
Kayacık	45849	53.42	2.24 x 10 ⁻⁵	2.08 x 10 ⁻³	0.11 x 10 ⁻²	Alüvyon
İbecik	53462	16.65	9.34 x 10 ⁻⁷	9.15 x 10 ⁻⁵	0.75 x 10 ⁻²	Alüvyon
İbecik	53463	25.30	2.28 x 10 ⁻⁶	2.10 x 10 ⁻⁴	0.86 x 10 ⁻²	Alüvyon
Karamusa	54725	31.03	5.50 x 10 ⁻⁶	5.67 x 10 ⁻⁴	4.90 x 10 ⁻¹	Alüvyon
Karamusa	54726	35.32	4.61 x 10 ⁻⁶	4.93 x 10 ⁻⁴	1.10 x 10 ⁻²	Alüvyon
Karamusa	54727	32.36	6.32 x 10 ⁻⁶	6.51 x 10 ⁻⁴	2.40 x 10 ⁻¹	Alüvyon
Karamusa	54728	21.13	2.34 x 10 ⁻⁶	3.23 x 10 ⁻⁴	6.0 x 10 ⁻¹	Alüvyon

Tablo 3: Gölhisar Ovası yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri.

Bölge	No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁼ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	EC µS/cm	pH	T °C
Beyköy*	G-1	5.74	0.22	19.47	87.43	3.81	5.65	463.75	0.0	640	8.00	20.3
Büyükalan*	G-2	12.72	1.32	61.56	77.19	8.81	20.67	518.67	0.0	760	7.95	19.5
Küçükalan*	G-3	2.08	0.51	2.07	94.8	2.31	1.89	378.2	72.0	580	8.73	18.8
İshak	G-4	5.78	0.4	24.34	58.25	4.7	2.93	360.02	0.0	510	8.14	18.8
Yusufoça	G-5	5.11	0.33	24.21	101.4	3.95	2.46	549.18	0.0	710	7.81	17.5
Yusufoça*	G-6	2.15	0.45	14.79	87.78	2.08	2.37	433.24	0.0	580	8.23	23.6
Yamadı	G-7	15.42	1.05	65.93	52.23	6.93	31.13	433.24	0.0	610	7.75	23.1
Büyükalan	G-8	5.12	0.52	20.28	91.15	6.32	6.26	402.6	24.0	600	8.31	20.3
Yuvaköy	G-9	12.53	0.29	93.97	37.22	6.43	41.31	402.73	0.0	670	7.46	20.1
Başpınar*	G-10	2.71	0.48	61.35	6.56	1.38	3.56	195.26	0.0	320	7.99	16.4
Karamusa	G-11	9.95	0.6	40.9	34.02	4.68	17.44	250.18	0.0	430	7.88	20.7
İbecik*	G-12	2.75	0.46	59.21	34.08	3.4	6.04	329.51	0.0	490	7.69	15.7
İbecik	G-13	16.16	5.22	102.8	46.05	20.35	22.78	451.55	0.0	790	7.14	16.7
Altınyayla*	G-14	4.84	1.81	131.1	9.65	7.84	8.43	378.32	0.0	600	7.18	17.7
Kızılyaka	G-15	5.12	1.1	121	11.94	6.39	10.35	372.22	0.0	550	7.08	19.6
Sınır değer içme suyu standartları [9]	200	12	200	150	250	250	--	--		6.5-9.5		
Sınır değer içme suyu standartları [10]	200	--	300	30	250	250	--	--		6.5-8.5		

*: Kaynak suyu.

Tablo 4: Gölhisar Ovası yeraltısularının ağır metal ve azot türevleri analiz sonuçları.

Bölge	Örnek No	As µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
Beyköy*	G-1	<0.5	25.4	0.6	<10	0.48	1.0	2.0	<0.01	4.56	0.10
Büyükalan*	G-2	<0.5	15.2	0.7	<10	0.31	0.4	0.9	<0.01	16.50	<0.06
Küçükalan*	G-3	<0.5	7.1	1.1	<10	0.19	0.3	2.4	<0.01	2.70	<0.06
İshak	G-4	<0.5	18.8	0.5	<10	0.42	<0.2	1.4	<0.01	5.08	<0.06
Yusufoça	G-5	<0.5	17.0	0.8	<10	0.16	0.3	1.1	<0.01	2.56	<0.06
Yusufoça*	G-6	<0.5	18.0	2.1	<10	0.14	0.8	1.9	<0.01	0.98	<0.06
Yamadı	G-7	0.7	19.2	0.8	<10	0.14	<0.2	0.8	<0.01	8.73	<0.06
Büyükalan	G-8	1.8	12.5	1.0	<10	0.35	0.8	4.7	<0.01	10.09	0.08
Yuvaköy	G-9	0.7	1.8	1.8	<10	1.62	1.1	4.1	<0.01	9.56	<0.06
Başpınar*	G-10	<0.5	<0.5	0.6	<10	0.16	<0.2	1.7	<0.01	1.98	<0.06
Karamusa	G-11	<0.5	20.8	1.4	<10	0.13	<0.2	3.0	<0.01	14.81	<0.06
İbecik*	G-12	<0.5	2.1	0.4	<10	0.10	1.0	1.1	<0.01	2.51	<0.06
İbecik	G-13	0.9	1.4	4.0	<10	0.62	1.2	8.4	<0.01	38.77	<0.06
Altınyayla*	G-14	<0.5	1.1	0.4	<10	0.08	<0.2	0.9	<0.01	24.45	<0.06
Kızılyaka	G-15	<0.5	0.5	0.4	<10	<0.05	<0.2	0.5	<0.01	22.61	<0.06
Sınır değer içme suyu standartları [9]	10	50	2000	200	50	20	-	0.5	50	0.5	
Sınır değer içme suyu standartları [10]	10	50	1000	300	400	-	5000	-	50	-	

9 Sonuç ve öneriler

Gölhisar Ovası Burdur Gölü Kapalı Havzası içerisinde bulunan yarı kapalı havza özelliğine sahip ovalardan biridir. Gölhisar Ovasının 1/100000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden hesaplanan beslenme alanı yaklaşık 1505 km²'dir. Bölgede allokton konumlu Yeşilbarak napı, Likya napları ile paraallokton ve neotokton birimler otokton konumlu olarak yüzülemektedir. Alüvyon inceleme alanında yayılımı ve verimi fazla olan taneli ortam akiferini temsil etmektedir. İnceleme alanında alüvyon, konglomera ve kireçtaşı birimlerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgede genel yeraltısuyu akım yönünün ovanın güneyine doğru olduğu görülmektedir. Ovada yeraltısuyu tablasının rakımı 960-1644 m arasında; yeraltısuyunun yüzeyden derinliği ise 4.0-57.07 m arasında ölçülmüştür. İnceleme alanında yeraltısuları Piper diyagramına göre Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ hidrojeokimyasal su

fasiyelerinin varlığı tespit edilmiştir. İnceleme alanında Mg artışı Neojen Çameli formasyonu, Orhaniye formasyonu ve Marmaris peridotiti ile kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Gölhisar Ovası'nda su kaynaklarının içme suyu olarak kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla suların fiziksel, anyon-kasyon, azot türevleri ve ağır metal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarının müsaade edilen maksimum sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve bu değerlerin aşılmadığı tespit edilmiştir.

10 Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (Proje No: 3561-YL1-13) ile Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü'nde çalışan Jeoloji Müh. Hüdayi MANGA ile arazi çalışmalarında önemli yardımlarda bulunan tekniker Ahmet Ali ÇANKAYA'ya teşekkür ederiz.

11 Kaynaklar

- [1] Poisson A. Recherces geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). These University. Paris-Sud, Orsay, 795s, 1977.
- [2] Erakman B, Meşhur M, Gül MA, Alkan H, Öztaş Y, Akpınar M. "Toros Projesine Bağlı Kalkan-Köyceğiz-Çameli-Tefenni Arasında Kalan Alanın Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları Raporu". Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Raporu, Ankara, Türkiye, 1732, 1982.
- [3] Şenel M, Akdeniz N, Öztürk EM, Özdemir T, Kadıncık G, Metin I, Öcal H, Serdaroğlu M, Örçen S. "Fethiye (Muğla)-Kalkan (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi". Maden Tetkik Raporu, Ankara, Türkiye, 9761, 1994. (yayımlanmamış).
- [4] Bilgin ZR, Karaman,T, Öztürk Z, Şen MA, Şenel M. "Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi Raporu". Maden Tetkik Arama Raporu, Ankara, Türkiye, 9071, 1990.
- [5] Şenel M, Selçuk H, Bilgin ZR, Şen AM, Karaman T, Dinçer MA, Durukan E, Arbas A, Örçen S, Bilgi C. Çameli (Denizli)-"Yeşilova (Burdur)-Elmalı (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi". Maden Tetkik Raporu, Ankara, Türkiye, 9429, 1989. (yayımlanmamış).
- [6] Şenel M. Türkiye Jeoloji Haritaları. Fethiye-L8 paftası, Ankara, Türkiye, MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, 1997.
- [7] Yılmaz Eİ. Gölhisar (Burdur) Ovasının Hidrojeoloji İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2015.
- [8] Şahinci A. "Doğal Suların Jeokimyası". Bölüm 2. İzmir, Türkiye, Reform Matbaası, 1991.
- [9] Türk Standartları Enstitüsü. "İnsani Tüketim Amaçlı Sular". Ankara, Türkiye, 266, 2005.
- [10] WHO. "Guidelines for drinking-water quality". 3rd ed. incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization, 2012.
- [11] Kharaka YK, Gunter WD, Affarwall PK, Perkins EH, De Braall JD. "SOLMINEQ A Computer Program Code for Geochemical Modelling of Water-Rock Interactions". US Geological Survey Water Investigations, USA, Report 88-4227, 1988.